

534331

5912121
87032

汽车

发动机的润滑



人民交通出版社

成都科学技术学院图书馆

基本馆藏

汽车

发动机的润滑

人 民 交 通 出 版 社

1979·北京

196902

内 容 提 要

本书系日本古滨庄一所著，是一本关于汽车发动机的润滑和磨损、气密性及热负荷方面的专门书籍，书中汇集作者在这些方面二十多年来的研究成果，介绍了理论解析、实验装置和实验结果等等，内容较丰富，对从事发动机研究设计和修理使用的工程技术人员以及大专院校师生，均有参考价值。

原版的印刷错误颇多，在翻译过程中凡发现的，均加以改正，一般不再注明，此外，对内容也略有删节。

本书由徐志伟同志翻译，胡一玲同志协助。

汽 车 发 动 机 的 润 滑

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：12.625 字数：329 千

1979年4月 第1版

1979年4月 第1版 第1次印刷

印数：0001—50,600 册 定价：1.30元

(限国内发行)

目 录

第一章 摩擦、磨损和润滑的机理	1
一、内燃机磨滑面的特殊性.....	1
二、固体摩擦时的凝着说.....	2
三、轴承合金的摩擦特性.....	4
1. 铜-铅合金	5
2. 巴氏合金 (白合金)	8
四、由油膜将磨滑面隔离开的润滑.....	10
五、边界润滑.....	14
六、实际的摩擦特性 (混合润滑)	15
第二章 润滑油	18
一、粘度.....	18
1. 单位和测定方法.....	18
2. 粘度同温度的关系.....	21
二、润滑油变质.....	26
1. 润滑油的功用.....	26
2. 添加剂.....	32
1) 基油.....	32
2) 选择性溶剂精制对发动机性能的影响.....	35
3) 抗氧化添加剂.....	35
4) 清净分散剂.....	37
5) 增粘剂.....	40
6) 极压添加剂 (EP)	41
7) 其它.....	41
三、润滑油对发动机的适应性和试验方法.....	41
、1) 在专供试验用发动机上的试验.....	42

2)在实际发动机上的试验.....	47
3)润滑油按发动机的使用条件的分类.....	53
四、滑油滤清器.....	59
1.固体颗粒对磨损的影响.....	59
2.滑油滤清器的构造.....	63
1)离心式滤清器.....	64
2)普通多板式滤清器.....	64
3)深度式滤清器.....	66
3.滤清回路.....	68
1)全流式.....	68
2)旁路式.....	68
3)两段式.....	68
4)并列式.....	69
五、滑油的需要量和供给方法.....	71
1.四行程发动机的场合.....	71
2.曲轴箱扫气式二行程发动机的场合.....	74
第三章 活塞环和气缸的润滑	79
一、活塞环的流体润滑理论.....	79
1.活塞环的润滑状态.....	79
2.磨滑面的形成.....	80
3.一般式.....	83
4.计算举例.....	93
5.实验的证明.....	103
二、活塞环和气缸的磨损.....	110
1.概述.....	110
2.发动机磨损的测定方法.....	111
3.正常运转时的磨损.....	116
4.低温腐蚀磨损.....	123
5.由吸气中的尘埃所导致的磨损.....	135
6.由突爆所导致的异常磨损.....	140

7.冷却水侧的气缸套筒的气蚀现象.....	144
8.活塞环的擦伤.....	148
三、润滑油消耗量.....	152
1.问题的提出和测量方法.....	152
2.通过活塞环后残留在气缸壁上的滑油.....	154
3.滑油消耗的特征.....	163
第四章 曲轴轴承的润滑	173
一、曲轴轴承的特殊性.....	173
二、定常状态下、二元流动、有负压时的滑动轴承流 体润滑理论.....	173
1)压力分布.....	175
2)负荷容量和油膜厚度.....	177
3)摩擦力.....	180
三、定常状态下、二元流动、仅有正压时的计算.....	182
1) $0 \sim 180^\circ$ 积分.....	183
2)在实际油压存在范围内的积分.....	184
四、定常状态下三元流动的解法(考虑轴向流动).....	188
1)短轴承.....	190
2)有限宽度、正压轴承的计算结果.....	191
五、曲柄-连杆机构各轴承的工作条件.....	197
1)活塞销.....	198
2)连杆轴颈.....	202
3)主轴承.....	206
六、非定常流动的轴承(动负荷轴承)理论.....	208
1.一般式.....	208
2.无轴向流动的(长的)动负荷轴承.....	211
3.长轴承、轴不旋转、承受正弦波负荷时活塞销的 油膜生成.....	213
4.长轴承,轴和一定负荷各以一定的角速度旋转时.....	215
5.短轴承的近似解.....	216

七、关于连杆轴承的实际例子.....	218
1. 温度分布.....	218
2. 最小油膜厚度的推定.....	230
3. 轴心轨迹的测定举例.....	233
第五章 活塞环的气密作用.....	237
一、燃气漏泄对发动机耐久性的影响.....	237
1) 功率下降.....	237
2) 润滑油变质.....	238
3) 热负荷故障.....	240
4) 磨损增加.....	241
5) 其它.....	241
二、漏泄燃气的测定方法.....	241
1. 四行程发动机.....	241
2. 二行程发动机.....	244
三、燃气漏泄的通路.....	245
1. 低速柴油机关于开口的实验.....	245
2. 燃气从开口处漏泄的通路.....	249
3. 从气缸壁和活塞环外周间隙处的漏泄.....	253
4. 从活塞环侧隙的漏泄.....	259
5. 三种漏泄通路的比较.....	268
四、活塞环漏泄气体的理论解析.....	269
1. 基本公式.....	269
2. 计算举例.....	272
五、活塞环圆周方向的回转运动.....	283
1. 燃气漏泄的周期性上升.....	283
2. 由环岸处的温度测定来证明.....	284
3. 由放射性同位素示踪.....	285
六、漏泄气体的组成.....	289
第六章 发动机各部位的温度及热负荷故障.....	301
一、温度同耐久性.....	301

1) 材料的耐热性.....	301
2) 热应力.....	302
3) 热膨胀.....	302
4) 热变形.....	302
二、温度测量方法.....	303
1) 热电偶的特性.....	303
2) 测量回路和测量方法.....	305
3) 热接点.....	307
4) 校验方法.....	310
5) 电阻温度计.....	311
6) 引线从活塞中引出的方法.....	311
三、测温结果举例.....	318
1. 侧置气门式汽油机.....	318
2. 汽车用汽油机.....	325
3. 气冷二行程汽油机.....	331
4. 二行程水冷汽油机.....	339
5. 汽车用水冷四行程柴油机.....	343
6. 气冷二行程柴油机.....	348
四、其它部位的温度.....	358
1. 排气门.....	358
2. 火花塞.....	372
五、特殊冷却方法的试验.....	379
参考文献	391

第一章 摩擦、磨损和润滑的机理

一、内燃机磨滑面的特殊性

内燃机同其它机械一样，有各种轴和轴承、活塞和气缸、凸轮和推杆、齿轮、阀等作滑移运动的表面。这些表面能够在多大程度上维持初始的状态，乃是耐久性问题中的最主要的部分，归根到底归结为耐磨损性和润滑措施。但是，内燃机同其它机械相比，又有以下一些难点。

1) 由于对发动机的要求是体积小，重量轻，功率大，因此单位磨滑面的负荷量很大。

2) 除了摩擦热之外，还受燃烧热量的影响，所以磨滑面的温度很高。

3) 在燃烧室生成的燃气和固态物等，由于高温和化学反应，危害金属和滑油；同时，燃料和滑油中的杂质和添加剂等由于燃烧发生变化，其生成物堆积在活塞等处，起着促进磨损的作用。

4) 活塞等零件的运动速度在某一瞬间变为零，使油膜生成困难。

5) 在燃烧室附近，为保证润滑所供给的滑油，由于可能经过燃烧室而消失掉，所以难以充分供给。

6) 磨滑面的间隙由于热膨胀和热变形而变小，有引起烧熔粘着等故障之虞。

7) 吸气中含有尘埃、盐分等有害物质。

8) 由于振动、冲击负荷和压力的急剧上升等，有时会产生气蚀现象等异常现象。

9) 对滑油特性的要求各不相同，对于活塞上方主要考虑耐热措

施，对于曲轴轴承处则考虑粘度，对于齿轮和凸轮等则考虑边界润滑性等等，尽管如此，却必须用同一种滑油来润滑。

在理解具有上述特点的发动机的摩擦现象的过程中，本章先就这些现象的基本概念，作一简单的说明。

二、固体摩擦时的凝着说

两个固体之间在负荷作用下，一边被推压在一起，一边滑移时，一定要有摩擦阻力，并产生磨损。为了弄清这种固体摩擦的机理，真是花费了很多年月，结果用下面的凝着说来加以说明。

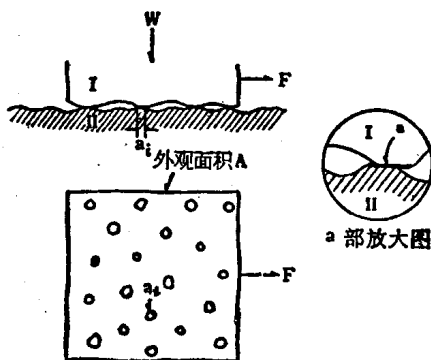


图1-1 固体摩擦面的真正接触面积

如图 1-1 中所见到的，在负荷 W 的作用下，面 I 在面 II 上移动时，无论两个平面加工得多么平，甚至是镜面，也一定是凹凸的。两个物体真正接触的部分仅仅是一些突出部，相对于视在接触面积 A 来说，真正接触面积 $S = \sum a$ 非常小，

$$S \ll A \quad (1.1)$$

所以，视在接触压力 W/A 是一个很小的数值，而真正的接触压力 W/S 却非常大，以致在接触部分 a 处超过了材料的弹性极限，在塑性变形下，表面被挤压破碎，硬面嵌入软面里去。在这种状态下，由于摩擦，软金属被划成沟道，为剪断局部金属所作的很大的功变成了

热，所以在接触面处，一方的金属达到熔点，两个表面间产生熔着或者凝着现象，如图 1-2 所示，两种金属之间有质点互相易位。即固体摩擦的阻力是金属的一种抗剪力，其大小和耐磨性由两金属的硬度、融点和合金的难易程度等来决定。一方金属比另一方软且熔点低时，由于磨滑面的突起部分易于变形和抗剪强度小，发热量小，一般可作



图1-2 上下方向特殊放大的摩擦面简图

铜在钢上摩擦时，黑印为铜，铜和钢的凝着面被剪断之际，主要是铜被剪断，其破片残留在钢面上。由于其结合力很强，能将钢面掘起，并刮下一部分掠走。

为优良的磨滑面材料。但是，对同一金属，特别是对相同的纯金属或易于合金化的金属组合的磨滑面，在 a 部两金属熔融成一体，形成较硬的合金，这部分的剪断抗力变大，剪断后形成磨损颗粒，此时，在产生“卡住”及烧粘等故障的同时，摩擦力也变大。

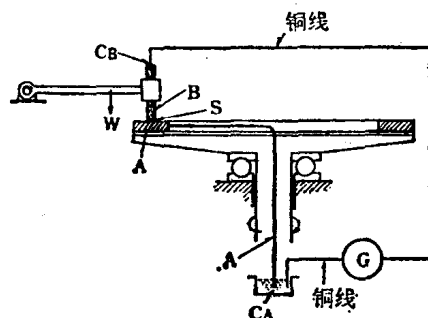


图1-3 旋转面 A (钢) 和各种金属 B 组成的滑动面
S 点的温度测量法，S 点为金属 A、B 组成的热电偶的热接点，C_B 和 C_A (水银) 为温度相同的冷接点，热电动势放大后，以示波器加以记录。

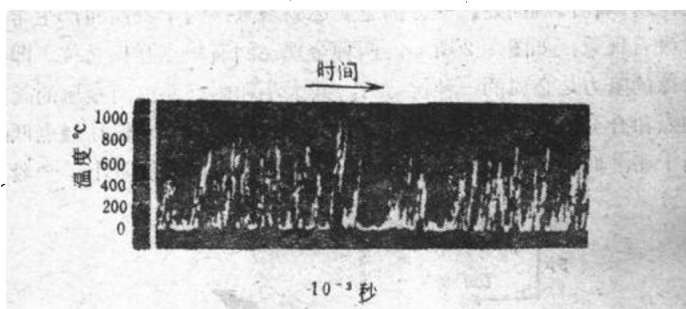


图1-4 钢板和康铜， $W = 500$ 克，滑移速度为300厘米/秒时，摩擦面瞬时速度的记录值

为证明这种固体摩擦的凝着说，可做一实验。在图 1-3 中，使圆钢板 A 旋转，用力 W 使具有热电动势的康铜（熔点 $m.p. = 1290^{\circ}\text{C}$ ）、铅（ $m.p. = 327^{\circ}\text{C}$ ）、伍德合金（ $m.p. = 72^{\circ}\text{C}$ ）和钾（ $m.p. = 32^{\circ}\text{C}$ ）与板相接触，产生摩擦，将热电偶的热电动势 G 的瞬时值记录下来。图 1-4 为实验结果的一个例子，记录下来的最高温度接近熔点，可以推断局部地方有康铜熔化的现象，这是凝着说的有力的实验证明。

三、轴承合金的摩擦特性²⁾

支承轴的磨滑面，一般使用特殊的金属。这些金属的选定，是由过去长期的经验得出的。这里，根据上一节的概念，来阐明一两种轴承合金的基本特性。

理想的情况，磨滑面由油膜隔开，避免金属与金属的接触。但是实际上，在开始起动、停止时，油膜会在瞬间内或在局部地方被切断，不可避免产生金属接触。即使在这种情况下，为了不使不良状态扩大，继续正常运转，必须使相互磨滑面的摩擦特性良好，摩擦阻力小，能立即恢复到稳定运转的状态。如果不是这样，例如同一种纯金属之间磨滑的场合，那怕是很小部分的金属接触，也会因凝着强而产生大量的摩擦热，表面变得粗糙。于是，磨滑面的轮廓会更加妨碍油膜的建立，摩擦状态将进一步恶化。

1. 铜-铅合金

其中的一种如图 1-5 所示，在均匀的铜的硬基体中分布有 27% 的粒状的铅；另一种如图 1-6 所示，在铜基体中分布有 20% 的网状的铅。这两种都是有代表性的铜-铅合金。用显微硬度计测得的硬度，铜基体的维氏硬度 $V.D.H. = 60$ 公斤/毫米²，铅 $V.D.H. = 8$ ，对合金整体而言，前者 $V.D.H. = 36$ ，后者 $V.D.H. = 24$ ，前者的机械强度大。

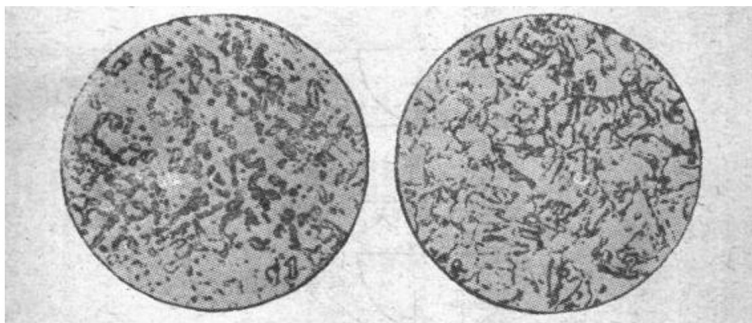


图1-5 粒状铜-铅合金

在硬基体——铜中，铅（暗的部分）
成粒状分布（ $\times 208$ ）

图1-6 网状铜-铅合金

铅成网状分布

现在我们来研究一下一个金属平面和另一个球面金属相接触成固体摩擦时（图 1-7），其摩擦阻力的大小。由于摩擦阻力等于接触面积 A 同被剪金属（软的）的抗剪强度 S 的乘积，所以，a 图的场合，在软的金属平面上， A 大而 S 小；b 图的场合，在硬的金属平面上， A 小而 S 大。因此，这两种情况下的摩擦系数大致差不多，在 0.6~1.2 之间。但是在 c 图的场合就不一样了，在硬金属的表面贴附一层软金属薄膜时， A 和 S 都很小，所以摩擦阻力可以变得非常小。

图 1-8 表示的是，在各种金属平面上附着一层铅的薄膜，以半径 8 毫米的钢球在平面上推压（推压力的大小应使产生的压痕轨迹面积 A 相同）产生摩擦时，尽管金属的硬度各不一样，它们的摩擦力却是相同的。即在各种场合下，摩擦力都可以解释为铅的抗剪强度。另外，软薄膜的厚度如图 1-9 中所看到的那样，有一最佳值。薄膜过薄

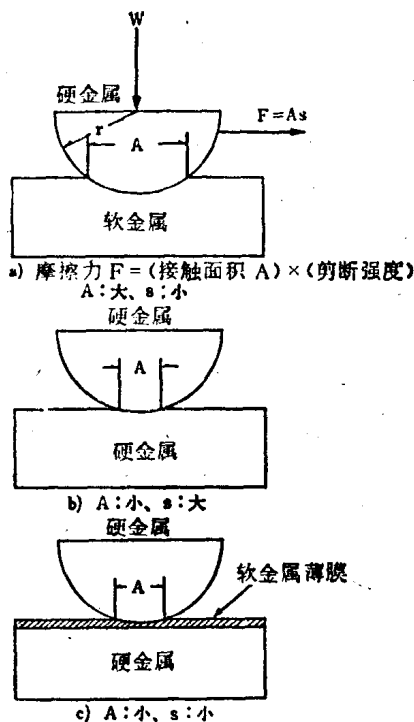


图1-7 具有软金属薄膜的硬金属间摩擦系数减小的原因

的话, 受基体金属的影响, 薄膜过厚, 则使接触面积 A 增大。

表 1-1 中所列出的是各种金属组合不同时的摩擦系数值。可以看出, 铜-铅合金和钢组成的摩擦副, 就相当于在铜面上附着有铅的薄膜的场合, 具有很低的摩擦阻力。这是由于在铜-铅合金上, 负荷的大部分由铜来支承, 被剪断的仅仅是在表面上熔出的铅层。这个道理也可以从表 1-2 的实验结果进一步理解。即反复摩擦 20 回后的摩擦系数值, 在纯金属组成摩擦副的场合, 由于擦伤的大小不变, 摩擦系数也不变。但是在附着铅薄膜的场合下, 由于薄膜逐渐磨损, 基体金属的铜开始直接接触, 摩擦阻力增大。与此很相象的是在铜-铅合金上以钢摩擦时, 摩擦阻力也增大。这是由于散布在铜表面的铅析出于摩擦

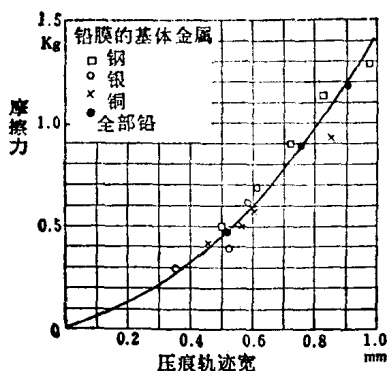


图1-8 以半径3毫米的钢半球在附着有铅薄膜的金属上推压滑移时，摩擦力（不是摩擦系数）与基体金属无关，仅和接触面积（或压痕轨迹）有关

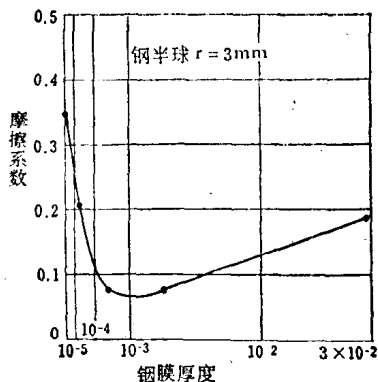


图1-9 将铅的薄膜附着于钢板上，以钢半球摩擦时，薄膜厚度同摩擦系数的关系

表1-1 铜-铅合金同铅薄膜的摩擦系数（静摩擦）

静 止 平 面	半 球 形 滑 块			
	钢	铜	铅	铜-铅合金
钢	1.0	0.7	0.9	0.3
铜	0.9	2.0	1.0	
铅	1.2	1.3	1.6	
附有铅薄膜的铜面	0.18			
铜-铅合金	0.18			

部分的表面，减小了摩擦阻力，而随着铅逐渐被磨损掉，基体金属铜和钢直接摩擦，所以摩擦系数又增大了。

另外，在图1-5的粒状组织的铜-铅合金中，析出的铅的“供应源”为独立的小孔；而在图1-6的网状铜-铅合金中，由于铅是互相连接的，可以由离开接触点的地方供给铅，所以，网状组织的铜-铅合

表1-2 在同一处反复摩擦时的特点

磨 滑 面		静 摩 擦 系 数		
静 止 平 面	滑 块	第1回	第2回	第20回
铜	钢	0.9	0.9	0.8
钢	铜	0.7	0.9	0.85
铅	钢	1.2	1.4	1.4
铜	铅	0.9	1.0	0.8
附有 10^{-3} mm 铅膜的铜	钢	0.18	0.18	0.27
铜-铅合金	钢	0.18	0.17	0.26

金至摩擦系数增大时的摩擦回数要多得多。即这种合金的“润滑”性能好。但是，论机械强度，则以粒状组织的铜-铅合金为好。

2. 巴氏合金（白合金）

有主成分为铅或主成分为锡的巴氏合金，但无论哪一种都和铜-铅合金相反，为软的基体中分散有硬的结晶质点的合金。过去曾经认为这种硬的质点在巴氏合金的摩擦性能中起着重要的作用，因此，我们特别制做了不含硬质点的仅有软基体的合金，与有硬质点的合金加以比较。

在图1-10中，铅合金的组织成分为：铅——78.5%，锑——15%，铜——0.5%，锡——6%，基体为铅-锡-锑的共晶合金。图中，硬而白的立方体状物为锡-锑化合物，它的四周被黑色的、浓度高的铅的固溶体所包围。与其相对照的，在图1-11中，基体是与前者大体相同的组织，成分为：铅——87%，锑——10%，铜——0，锡——3%。在铅-锡-锑共晶合金的基体中，只分散着浓度高的铅的固溶体。将二者加以比较。

首先，各合金的硬度如表1-3所示。巴氏合金的基体为19，其中的硬质点为110，但是整体的硬度为21，硬质点的影响很小。它的硬度与上述没有硬质点的比较合金的硬度没有多大差别。可以看出，这种情况甚至在高温时也是一样的。所以对巴氏合金的固体摩擦而言，

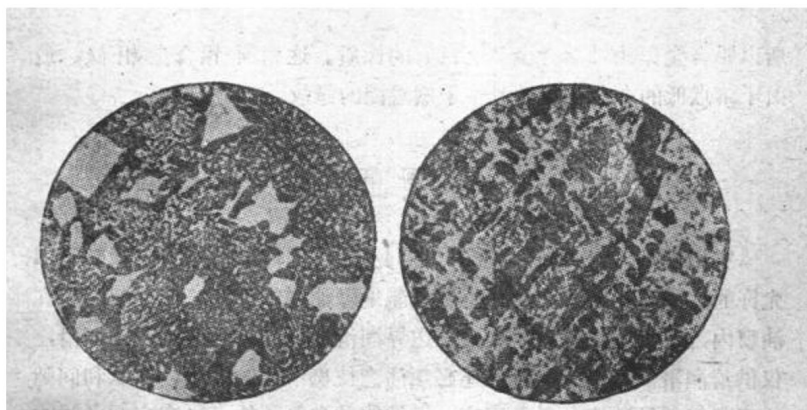


图1-10 主成分为铅的轴承合金
基体为铅-锡共晶体，硬立方体四
周被浓的铅固溶体包围（ $\times 350$ ）

图1-11 只有主成分为铅的基
体金属的合金
在铅-锡-锑共晶体的基体四周
分散有浓的铅固溶体，无硬质点

表1-3 铅合金的硬度

金 属	整体的维氏硬度	显 微 维 氏 硬 度
纯 铅	4	
巴 氏 合 金	21	基体19，立方体质点110，浓铅固溶体18
比 较 合 金	18	铅-锡-锑共晶体18
钢	166	
铜-铅合金	36	铜基体56，铅相8

其真正接触面积可认为与和基体硬度相同的同样金属面相同。实际上，由钢半球摩擦实验的结果也可知道，无论哪一种，其摩擦系数均在0.4左右。这样，我们知道了巴氏合金组织中含有的结晶硬质点对摩擦特性几乎没有什么影响。这是由于结晶硬质点承受负荷而又深入软基体中，所以这部分没有摩擦阻力。很明显，过去的说法是不对的。

当然，以上说的是高结晶质点对摩擦性能几乎不起什么作用。由于纯铅同钢的摩擦副，摩擦系数为1.0~1.2，而铅的合金仅为0.4，